

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

JAPANESE

1 / 1

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-077295

(43)Date of publication of application : 14.03.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G01M 11/00

G02B 13/24

G02B 19/00

G02B 27/52

G03F 7/20

G03F 9/00

(21)Application number : 10-242961

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 28.08.1998

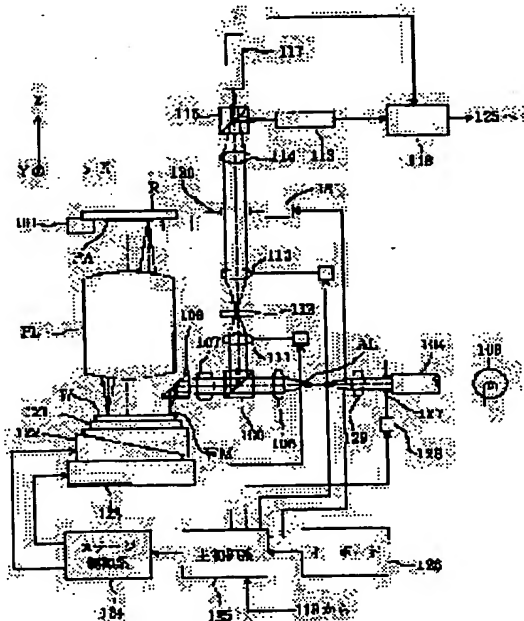
(72)Inventor : FUKUI TATSUO
NAKAMURA AYAKO
NAKAGAWA MASAHIRO

(54) APPARATUS AND METHOD FOR INSPECTING OPTICAL SYSTEM, ALIGNER HAVING THE INSPECTING APPARATUS AND PROJECTION ALIGNER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately and easily inspect various astigmatisms, focal positions, optical axis deviations, etc., of an optical system.

SOLUTION: An optical system, having illumination optical systems 103-108 for radiating an illumination light on a phase pattern WM and image forming optical systems 107-115 for forming image of the phase pattern is inspected. It comprises means 116, 117 for detecting the image of the phase pattern formed through this optical system and a means 122 for defocusing the image of the phase pattern detected in the image inspecting means. The coma aberration of the optical system, shading of the light flux in the optical system and inclination of the main light beam of the illumination light with respect to the normal to a phase pattern forming plane W are inspected, based on the change in the asymmetry of an image corresponding to the edge of the phase pattern which is respectively detected in a defocused condition in the image detecting means.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-77295
(P2000-77295A)

(43) 公開日 平成12年3月14日 (2000.3.14)

(51) IntCl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 L	21/027	H 0 1 L 21/30	5 2 6 A 2 G 0 8 6
G 0 1 M	11/00	G 0 1 M 11/00	T 2 H 0 5 2
G 0 2 B	13/24	G 0 2 B 13/24	2 H 0 8 7
	19/00	19/00	5 F 0 4 6
	27/52	27/52	

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-242961

(22) 出願日 平成10年8月28日 (1998.8.28)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 福井 達雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 中村 綾子

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

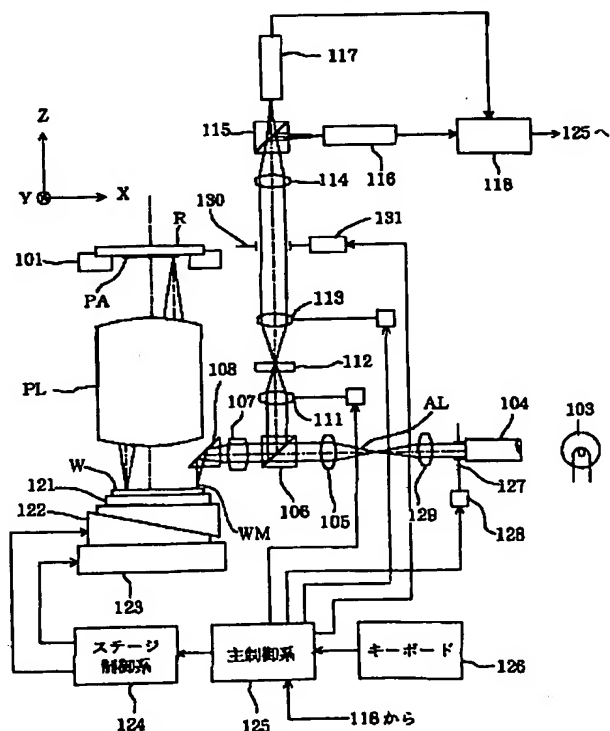
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系の検査装置および検査方法並びに該検査装置を備えた位置合わせ装置および投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 光学系の様々な収差、焦点位置、光軸ズレなどを正確に且つ簡易に検査することのできる検査装置。

【解決手段】 位相パターン (WM) に照明光を照射するための照明光学系 (103~108) と位相パターンの像を結像させるための結像光学系 (107~115) とを有する光学系を検査する。この光学系を介して形成された位相パターンの像を検出するための像検出手段 (116、117) と、像検出手段において検出される位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段 (122) とを備えている。像検出手段において各デフォーカス状態で検出された位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、光学系のコマ収差、光学系における光束ケラレ、および位相パターンの形成面 (W) の法線に対する照明光の主光線の傾きを検査する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、

前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記像検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、前記光学系のコマ収差、前記光学系における光束ケラレ、および前記位相パターンの形成面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを検査するための検査手段とを備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項 2】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、

前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、

前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第 1 の位相パターンと、該第 1 の位相パターンとは異なる位相振幅分布を有し前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第 2 の位相パターンとを有し、

前記第 1 の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第 1 の位相パターンの像の光強度と、前記第 1 の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第 1 の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第 1 のデフォーカス位置と、前記第 2 の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第 2 の位相パターンの像の光強度と、前記第 2 の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第 2 の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第 2 のデフォーカス位置とに基づいて、前記光学系の球面収差を検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項 3】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、

前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、

前記照明光学系には、照明開口絞りを通過する前記照明光の振幅分布を変更するための照明開口変更手段が設けられ、

前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、前記照明開口変更手段により設定した第 1 の照明条件の下で照明された前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第 1 のデフォーカス位置と、前記照明開口変更手段により設定した第 2 の照明条件の下で照明された前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第 2 のデフォーカス位置とに基づいて、前記光学系の球面収差を検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項 4】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、

前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、

前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、各デフォーカス状態での、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度との差の変化に基づいて、前記光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも 1 つを検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項 5】 転写パターンが形成されたマスク上に設けられた位相パターンからなる位置合わせマークまたは前記転写パターンの像が転写される感光性基板上に設けられた位相パターンからなる位置合わせマークに照明光を照射するための照明光学系と、前記位置合わせマークからの光束を集光して前記位置合わせマークの像を結像させるための結像光学系とからなるアライメント光学系を有し、前記マスクまたは前記感光性基板の位置決めを行うための位置合わせ装置において、

前記アライメント光学系を検査するための請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の検査装置を備え、

前記検査装置による前記アライメント光学系の検査情報に基づいて前記結像光学系の収差を補正するための収差

補正手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の光束ケラレを補正するために前記結像光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記結像光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの少なくとも1つをさらに備えていることを特徴とする位置合わせ装置。

【請求項6】 転写パターンが形成されたマスクに照明光を照射するための照明光学系と、前記転写パターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記照明光学系および前記投影光学系を検査するための請求項1乃至4のいずれか1項に記載の検査装置を備え、前記検査装置による前記照明光学系および前記投影光学系の検査情報に基づいて前記投影光学系の収差を補正するための収差補正手段、前記検査情報に基づいて前記投影光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記投影光学系の光束ケラレを補正するために前記投影光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記投影光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの少なくとも1つをさらに備えていることを特徴とする投影露光装置。

【請求項7】 所定の位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンに照明光を照射し、前記結像光学系の光軸方向において異なる複数のデフォーカス位置で前記位相パターンの像を検出し、前記複数のデフォーカス位置で検出された前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、前記光学系のコマ収差、前記光学系における光束ケラレ、および前記位相パターンの形成面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを検査することを特徴とする光学系の検査方法。

【請求項8】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンは、所定方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第1の位相パターンと、該第1の位相パターンとは異なる位相振幅分布を有し、前記所定方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第2の位相パターンとを有し、前記照明光学系を介して前記位相パターンに照明光を照射し、

前記位相パターンの像を、前記所定方向に沿った検出方向を有する像検出器を用いて検出し、

前記第1の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度と、前記第1の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度と、前記第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度となる第2のデフォーカス位置とに基づいて、前記光学系の球面収差を検査することを特徴とする光学系の検査方法。

【請求項9】 前記照明光学系は、照明開口絞りを通過する前記照明光の振幅分布を変更可能に構成され、前記第1のデフォーカス位置を検出する際には、前記照明開口絞りでの前記照明光の振幅分布を第1の振幅分布に設定し、

前記第2のデフォーカス位置を検出する際には、前記照明開口絞りでの前記照明光の振幅分布を前記第1の振幅分布とは異なる第2の振幅分布に設定することを特徴とする請求項7に記載の光学系の検査方法。

【請求項10】 所定の位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンに照明光を照射し、所定の検出方向を有する像検出器を用いて前記結像光学系の光軸方向において異なる複数のデフォーカス位置で前記位相パターンの像を検出し、前記位相パターンは、前記像検出器の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、前記複数のデフォーカス位置での、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度との差の変化に基づいて、前記光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを検査することを特徴とする光学系の検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光学系の検査装置および検査方法並びに該検査装置を備えた位置合わせ装置および投影露光装置に関し、特に半導体素子や液晶表示素子等を製造するリソグラフィ工程で用いる投影露光装置の投影光学系や、該投影露光装置に付設された位置合わせ装置のアライメント光学系、更にそのアライメント結果の判定を行うための重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどの検査および補正（調整）に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、半導体素子や液晶表示素子等を製

造するリソグラフィ工程で用いる投影露光装置では、マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感光性基板であるウエハ上に転写する。この際、ウエハ上にすでに形成されたパターンに対して、投影光学系を介して形成されるマスクパターンの投影像を、投影露光装置に付設された位置合わせ装置により位置合わせ（アライメント）して、重ね合わせ露光を行う。さらに、投影露光装置に内設または外設された重ね合わせ測定装置により、位置合わせ装置によるアライメント結果の良否を判定する。

【0003】この場合、たとえば投影光学系に収差が残存していると、マスクパターンの投影像が正確に結像することができず、ウエハ上に歪みのある転写パターンが形成される。また、たとえば位置合わせ装置のアライメント光学系に収差が残存していると、マスクとウエハとの正確な位置合わせを行うことができず、高精度な重ね合わせ露光を行うことができない。さらに、重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系についても、たとえば残留収差があると高精度な重ね合わせ測定を行うことができない。

【0004】このように、投影露光装置の投影光学系や、位置合わせ装置のアライメント光学系や、更に重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系などをできるだけ理想光学系に近い状態に設定することによりはじめて、投影露光装置や位置合わせ装置や重ね合わせ測定装置などの装置性能を十分に発揮させることができる。こうした光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどを正確に且つ簡易に検査し、検査結果に応じて精密に補正または調整することが近年益々重要になっている。

【0005】そこで、本出願人は、特開平9-49781号公報において、投影露光装置の投影光学系や、位置合わせ装置のアライメント光学系や、更に重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系などの検査に好適な検査装置を提案している。この検査装置では、例えば位相パターンの像を徐々にデフォーカスさせた際に生じる像の非対称性の変化に注目し、この非対称性の変化に基づいて主にコマ収差、球面収差、および光束ケラレ（光束が遮られること）を正確に検査している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平9-49781号公報に開示された検査装置では、コマ収差や球面収差以外の他の諸収差を正確に（再現性良く）且つ簡易に検査することができなかった。

【0007】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、光学系の様々な収差、焦点位置、光軸ズレなどを正確に且つ簡易に検査することのできる検査装置および検査方法を提供することを目的とする。また、本発明の検査装置による検出結果に基づいて光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどを補正または調整することによって十分な装置性能を発揮することのできる投影露光装

置、位置合わせ装置および重ね合わせ測定装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記像検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、前記光学系のコマ収差、前記光学系における光束ケラレ、および前記位相パターンの形成面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを検査するための検査手段とを備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0009】第1発明にかかる検査装置において、前記検査手段は、前記像検出手段において1つまたは複数のデフォーカス状態で検出した前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性と、前記位相パターンまたは前記像検出手段をその検出中心の周りに180度回転させた状態で前記像検出手段において1つまたは複数のデフォーカス状態で検出した前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性とに基づいて、前記位相パターンまたは前記像検出手段に起因する像の非対称性の検出誤差を補正して前記光学系を検査することが好ましい。

【0010】また、本発明の第2発明では、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第1の位相パターンと、該第1の位相パターンとは異なる位相振幅分布を有し前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第2の位相パターンとを有し、前記第1の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度と、前記第1の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度と、前記第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第2のデフォーカス位置とに基づいて、前

記光学系の球面収差を検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0011】さらに、本発明の第3発明では、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、前記照明光学系には、照明開口絞りを通過する前記照明光の振幅分布を変更するための照明開口変更手段が設けられ、前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、前記照明開口変更手段により設定した第1の照明条件の下で照明された前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記照明開口変更手段により設定した第2の照明条件の下で照明された前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第2のデフォーカス位置とに基づいて、前記光学系の球面収差を検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0012】また、本発明の第4発明では、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、各デフォーカス状態での、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度との差の変化に基づいて、前記光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0013】なお、第1発明乃至第4発明および各発明の好ましい態様にかかる検査装置においては、前記位相パターンに照射する前記照明光の波長を選択するための照明波長選択手段および前記位相パターンからの結像光束の波長を選択するための結像光束波長選択手段のうち

の少なくとも一方を備え、前記照明波長選択手段または前記結像光束波長選択手段によって選択された波長の光に関して前記光学系を検査することが好ましい。また、選択された波長の光に関して前記光学系を検査するために、前記位相パターンは異なる分光反射率または分光透過率を有する2つ以上の位相パターンを有することが好ましい。

【0014】また、前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返すデュエティ比が1対1の位相パターンであることが好ましい。また、前記位相パターンの透過または反射の振幅位相分布の位相変化量 Φ は、前記像検出手段で検出する光束の中心波長に対して、

$$\Phi = \pi (2n - 1) / 2 \quad (n \text{ は自然数})$$

の条件を満足することが好ましい。

【0015】また、前記デフォーカス手段は、前記位相パターン、前記光学系の全体または一部、および前記像検出手段のうちの少なくとも1つを前記光学系の光軸に沿って移動させることが好ましい。また、前記デフォーカス手段は、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とが等しくなるデフォーカス位置を中心として、前記像検出手段で検出される前記位相パターンの像のデフォーカス範囲を規定することが好ましい。

【0016】また、本発明の第5発明では、転写パターンが形成されたマスク上に設けられた位相パターンからなる位置合わせマークまたは前記転写パターンの像が転写される感光性基板上に設けられた位相パターンからなる位置合わせマークに照明光を照射するための照明光学系と、前記位置合わせマークからの光束を集光して前記位置合わせマークの像を結像させるための結像光学系とからなるアライメント光学系を有し、前記マスクまたは前記感光性基板の位置決めを行うための位置合わせ装置において、前記アライメント光学系を検査するために第1発明乃至第4発明および各発明の好ましい態様にかかる検査装置を備え、前記検査装置による前記アライメント光学系の検査情報に基づいて前記結像光学系の収差を補正するための収差補正手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の光束ケラレを補正するために前記結像光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記結像光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの少なくとも1つをさらに備えていることを特徴とする位置合わせ装置を提供する。また、本発明の別の観点によれば、マスク上に形成された転写パターンを感光性基板上に露光する露

光装置において、前記マスクまたは前記感光性基板の位置決めを行うために第5発明にかかる位置合わせ装置を備えていることが好ましい。

【0017】また、本発明の別の観点によれば、基板上に形成された第1パターンおよび第2パターンに照明光を照射するための照明光学系と、前記第1パターンおよび前記第2パターンからの光束を集光して前記第1パターンの像および前記第2パターンの像を結像させるための結像光学系とからなる重ね合わせ測定光学系を有し、前記第1パターンと前記第2パターンとの相対位置ずれの測定を行う重ね合わせ測定装置において、前記重ね合わせ測定光学系を検査するために第1発明乃至第4発明および各発明の好ましい態様にかかる検査装置を備え、前記検査装置による前記アライメント光学系の検査情報に基づいて前記結像光学系の収差を補正するための収差補正手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の光束ケラレを補正するために前記結像光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記結像光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの少なくとも1つをさらに備えていることが好ましい。

【0018】また、本発明の別の観点によれば、マスク上に形成された転写パターンを感光性基板上に露光する露光装置において、前記感光性基板上に形成された第1パターンと第2パターンとの相対位置ずれの測定を行うために上記重ね合わせ測定装置を備え、前記重ね合わせ測定装置による相対位置ずれ情報に基づいて、前記マスクまたは前記感光性基板の位置決め補正を行うことが好ましい。

【0019】また、本発明の第6発明では、転写パターンが形成されたマスクに照明光を照射するための照明光学系と、前記転写パターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記照明光学系および前記投影光学系を検査するために第1発明乃至第4発明および各発明の好ましい態様にかかる検査装置を備え、前記検査装置による前記照明光学系および前記投影光学系の検査情報に基づいて前記投影光学系の収差を補正するための収差補正手段、前記検査情報に基づいて前記投影光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記投影光学系の光束ケラレを補正するために前記投影光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記投影光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの

少なくとも1つをさらに備えていることを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0020】また、本発明の第7発明によれば、所定の位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンに照明光を照射し、前記結像光学系の光軸方向において異なる複数のデフォーカス位置で前記位相パターンの像を検出し、前記複数のデフォーカス位置で検出された前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、前記光学系のコマ収差、前記光学系における光束ケラレ、および前記位相パターンの形成面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを検査することを特徴とする光学系の検査方法を提供する。

【0021】また、本発明の第8発明によれば、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンは、所定方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第1の位相パターンと、該第1の位相パターンとは異なる位相振幅分布を有し、前記所定方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第2の位相パターンとを有し、前記照明光学系を介して前記位相パターンに照明光を照射し、前記位相パターンの像を、前記所定方向に沿った検出方向を有する像検出器を用いて検出し、前記第1の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度と、前記第1の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度と、前記第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度となる第2のデフォーカス位置とに基づいて、前記光学系の球面収差を検査することを特徴とする光学系の検査方法を提供する。

【0022】なお、第8発明の好ましい態様によれば、前記照明光学系は、照明開口絞りを通過する前記照明光の振幅分布を変更可能に構成され、前記第1のデフォーカス位置を検出する際には、前記照明開口絞りでの前記照明光の振幅分布を第1の振幅分布に設定し、前記第2のデフォーカス位置を検出する際には、前記照明開口絞りでの前記照明光の振幅分布を前記第1の振幅分布とは異なる第2の振幅分布に設定する。

【0023】また、本発明の第9発明によれば、所定の位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンに照明光を照射し、所定の検出方向を有する像検出器を用いて前記結像光学系の光軸方向において異なる複数のデフォーカス位置で前記位相パターンの像を検出し、前記位相パターンは、前記像検出器の検出方向に沿って周期的な位相変

化を繰り返す位相パターンであり、前記複数のデフォーカス位置での、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度との差の変化に基づいて、前記光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを検査することを特徴とする光学系の検査方法を提供する。

【0024】

【発明の実施の形態】本発明の検査装置および検査方法では、後述の実施例において図3および図4を参照して説明するように、各デフォーカス状態で検出された位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の指標 β の変化に基づいて、被検光学系のコマ収差および被検光学系における光束ケラレに加えて、位相パターンの形成面の法線に対する照明光の主光線の傾きすなわち照明テレセンを再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。具体的には、デフォーカス量 Z に依存することのない指標 β の一定のオフセット値 B に基づいて照明光の主光線の傾斜量すなわち照明テレセン量を求めることができる。また、デフォーカス量 Z に依存してほぼ線形的に変化する指標 β を表す直線の傾き C に基づいてコマ収差量を求めることができる。さらに、デフォーカス量 Z に依存して折れ線状または湾曲線状に変化する指標 β を表す折れ線または湾曲線の折れ曲がり量 D に基づいて光束のケラレ量を求めることができる。

【0025】この場合、位相パターンをその検出中心の周りに180度回転させた2つの状態で検出した2つの非対称性の指標 β_1 および β_2 に基づいて（たとえばその単純平均値に基づいて）、位相パターンに起因する像の非対称性の指標 β の検出誤差を補正することができる。また、CCDのような像検出手段をその検出中心の周りに180度回転させた2つの状態で検出した2つの非対称性の指標 β_1 および β_2 に基づいて（たとえばその単純平均値に基づいて）、位相パターンに起因する像の非対称性の指標 β の検出誤差を補正することもできる。

【0026】また、本発明の検査装置および検査方法では、後述の実施例において図7を参照して説明するように、位相振幅分布（ピッチ）の異なる第1の位相パターンと第2の位相パターンとを用いて、被検光学系の球面収差を再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。具体的には、第1の位相パターンの位相の進んだ領域（たとえば反射型凹凸パターンの凸部）に対応する像の光強度と第1の位相パターンの位相の遅れた領域（たとえば反射型凹凸パターンの凹部）に対応する像の光強度とが一致する（指標 $\alpha = 0$ となる）第1のデフォーカス位置 Z_1 と、第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する像の光強度と第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する像の光強度とが一致する（指標 $\alpha =$

0となる）第2のデフォーカス位置 Z_2 とに基づいて、被検光学系の球面収差の大きさおよび補正状態を求めることができる。

【0027】さらに、本発明の検査装置および検査方法では、後述の実施例において図8を参照して説明するように、2つの異なる照明条件に対して同一の位相パターンを用いて、被検光学系の球面収差を再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。具体的には、第1の照明 σ 値で照明された位相パターンの位相の進んだ領域に対応する像の光強度と位相パターンの位相の遅れた領域に対応する像の光強度とが一致する（指標 $\alpha = 0$ となる）第1のデフォーカス位置 Z_1 と、第2の照明 σ 値で照明された位相パターンの位相の進んだ領域に対応する像の光強度と位相パターンの位相の遅れた領域に対応する像の光強度とが一致する第2のデフォーカス位置 Z_2 とに基づいて、被検光学系の球面収差の大きさおよび補正状態を求めることができる。

【0028】また、本発明の検査装置および検査方法では、後述の実施例において図7および図8を参照して説明するように、各デフォーカス状態で位相パターンの位相の進んだ領域に対応する像の光強度と位相パターンの位相の遅れた領域に対応する像の光強度との差の指標 α の変化に基づいて、被検光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。

【0029】以上のように、本発明の検査装置および検査方法では、各デフォーカス状態において位相パターンのエッジに対応する像の非対称性（指標 β ）や位相パターンの凹凸部の像強度の差異（指標 α ）を計測することにより、光学系のコマ収差、光束ケラレ、照明光の傾斜（照明テレセン）に加え、球面収差、焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、像面傾斜を再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。そして、検出した光学系の検査情報に基づいて、光学系の収差や合焦位置に関する補正および調整、照明開口絞りや結像開口絞りに関する位置調整などを効率的且つ適正に行うことにより、当該光学系を理想光学系に限りなく近づけることができる。

【0030】したがって、本発明の検査装置を投影露光装置や位置合わせ装置や重ね合わせ測定装置などに組み込むことにより、投影露光装置の照明光学系および投影光学系や位置合わせ装置のアライメント光学系や重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系を再現性良く容易且つ迅速に検査するとともに、検査装置による検出結果に基づいて光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどを補正または調整することによって十分な装置性能を発揮させることができる。具体的には、位置合わせ装置ではアライメント光学系に起因する位置検出誤差が低減し、重ね合わせ測定装置では重ね合わせ測定光学系に起因する

測定誤差が低減する。また、投影露光装置では、投影光学系の収差が良好に補正され且つその焦点位置や光軸ズレなどが良好に調整されるので、パターン転写性能が向上し、精度の高い重ね合わせ投影露光を行うことが可能になる。

【0031】以下、本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の第1実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、第1実施例では、投影露光装置に付設されたオフアクシス方式の位置合わせ装置のアライメント光学系（結像光学系および照明光学系）を検査している。図1では、投影露光装置の投影光学系PLの光軸に対して平行にZ軸が、光軸に垂直な平面内において図1の紙面に平行な方向にX軸が、Z軸およびX軸に垂直な方向にY軸がそれぞれ設定されている。

【0032】図1に示す投影露光装置は、適当な露光光でマスクとしてのレチクルRを均一に照明するための露光用照明光学系（不図示）を備えている。レチクルRはレチクルステージ101上においてXY平面とほぼ平行に支持されており、そのパターン領域PAには転写すべき回路パターンが形成されている。レチクルRを透過した光は、投影光学系PLを介して感光基板であるウエハ（またはガラスプレート）Wに達し、ウエハW上にはレチクルRのパターン像が形成される。

【0033】なお、ウエハWは、ウエハホルダ121を介してZステージ122上においてXY平面とほぼ平行に支持されている。Zステージ122は、ステージ制御系124によって、投影光学系PLの光軸に沿って駆動されるようになっている。Zステージ122はさらに、XYステージ123上に支持されている。XYステージ123は、同じくステージ制御系124によって、投影光学系PLの光軸に対して垂直なXY平面内において二次元的に駆動されるようになっている。

【0034】投影露光の際には、パターン領域PAとウエハW上の各露光領域とを光学的に位置合わせ（アライメント）する必要がある。そこで、ウエハW上に形成されたアライメント用の段差マークすなわちウエハマークWMの基準座標系における位置を検出し、その位置情報に基づいてアライメントが行われる。このように、ウエハマークWMの位置を検出してアライメントを行うのに、本発明の位置合わせ装置が使用される。

【0035】図1に示す位置合わせ装置は、照明光（アライメント光AL）を供給するために、たとえばハロゲンランプのような光源103を備えている。光源103からの光は、たとえば光ファイバーのようなライトガイド104を介して所定位置まで導かれる。ライトガイド104の射出端から射出された照明光は、必要に応じて照明開口絞り127で制限された後、適当な断面形状を有する照明光束となってコンデンサーレンズ129に入射する。

【0036】コンデンサーレンズ129を介したアライメント光ALは、一旦集光された後、照明視野絞り（不図示）を介して照明リレーレンズ105に入射する。照明リレーレンズ105を介して平行光となったアライメント光ALは、ハーフプリズム106を透過した後、第1対物レンズ107に入射する。第1対物レンズ107で集光されたアライメント光ALは、反射プリズム108の反射面で図中下方に反射された後、ウエハW上に形成されたアライメントマークであるウエハマークWMを照明する。

【0037】このように、光源103、ライトガイド104、照明開口絞り127、コンデンサーレンズ129、照明視野絞り（不図示）、照明リレーレンズ105、ハーフプリズム106、第1対物レンズ107、および反射プリズム108は、ウエハマークWMに照明光を照射するための照明光学系を構成している。

【0038】照明光に対するウエハマークWMからの反射光は、反射プリズム108および第1対物レンズ107を介して、ハーフプリズム106に入射する。ハーフプリズム106で図中上方に反射された光は、第2対物レンズ111を介して、指標板112上にウエハマークWMの像を形成する。指標板112を介した光は、リレーレンズ系（113、114）を介して、XY分岐ハーフプリズム115に入射する。そして、XY分岐ハーフプリズム115で反射された光はY方向用CCD116に、XY分岐ハーフプリズム115を透過した光はX方向用CCD117に入射する。なお、リレーレンズ系（113、114）の平行光路中には、必要に応じて結像開口絞り130が配置されている。

【0039】このように、反射プリズム108、第1対物レンズ107、ハーフプリズム106、第2対物レンズ111、指標板112、リレーレンズ系（113、114）、結像開口絞り130およびハーフプリズム115は、照明光に対するウエハマークWMからの反射光に基づいてマーク像を形成するための結像光学系を構成している。また、Y方向用CCD116およびX方向用CCD117は、結像光学系を介して形成されたマーク像を検出するための像検出手段を構成している。

【0040】こうして、Y方向用CCD116およびX方向用CCD117の撮像面には、マーク像が指標板112の指標パターン像とともに形成される。Y方向用CCD116およびX方向用CCD117からの出力信号は、信号処理系118に供給される。さらに、信号処理系118において信号処理（波形処理）により得られたウエハマークWMの位置情報は、主制御系125に供給される。

【0041】主制御系125は、信号処理系118からのウエハマークWMの位置情報に基づいて、ステージ制御信号をステージ制御系124に出力する。ステージ制御系124は、ステージ制御信号にしたがってXYステ

ージ123を適宜駆動し、ウエハWのアライメントを行う。なお、主制御系125には、たとえばキーボードのような入力手段126を介して、照明開口絞り127に対する指令や結像開口絞り130に対する指令が供給される。主制御系125は、これらの指令に基づき、駆動系128を介して照明開口絞り127を駆動したり、駆動系131を介して結像開口絞り130を駆動したりする。また、主制御系125は、後述する収差補正指令に基づき、第2対物レンズ111やリレーレンズ113を駆動する。

【0042】上述したように、ウエハW上にはアライメントマークとしてウエハマークWMが形成されている

$$\Phi = \pi (2n - 1) / 2 \quad (n \text{ は自然数}) \quad (a)$$

【0043】図2は、位相パターン像の光強度に応じた信号Vを非計測方向に積分した積分信号 ΣV を、計測方向Sに対してプロットした図であって、位相パターン像の非対称性の指標 β を説明するための図である。第1実施例では、位相パターンからなるウエハマークWMの像が撮像素子であるCCD(116, 117)の撮像面に形成される。したがって、図2では、撮像素子(116, 117)からの撮像信号Vを非計測方向に積分した積分信号 ΣV を計測方向Sに対してプロットしている。

【0044】図2に示すように、積分信号 ΣV は、計測方向Sに沿って周期BP(B:結像光学系の倍率, P:

$$\beta = \Sigma \{V_{iL} - V_{iR} / (V_{\max} - V_{\min})\} / n \quad (1)$$

ここで、nは周期数であり、 Σ は $i = 1 \sim n$ までの総和記号である。

【0046】図3および図4は、主制御系125の指令に基づきステージ制御系124がZステージ122を適宜駆動して得られる各デフォーカス状態での位相パターン像の非対称性の指標 β の変化とコマ収差や光軸ずれ等との関係を示す図である。被検光学系(この場合は結像光学系および照明光学系)に残収差がなく且つ光軸ずれも存在しない理想的な光学調整状態では、図3(a)において直線L1で示すように、デフォーカス量Zに依存することなく指標 β は0である。

【0047】また、被検光学系(この場合は照明光学系)において物体面(すなわちウエハ面)を照射する照明光の主光線が物体面の法線に対して傾斜している場合(以下、「照明テレセンがある場合」という)には、図3(b)において直線L2で示すように、デフォーカス量Zに依存することなく指標 β は一定のオフセット値Bをとる。このオフセット値Bは、物体面の法線に対する照明光の主光線の傾斜量すなわち照明テレセン量にほぼ比例する。

【0048】さらに、被検光学系(この場合は結像光学系)にコマ収差が存在する場合、図4(a)において直線L3で示すように、指標 β はデフォーカス量Zに依存してほぼ線形的な変化を示す。そして、この直線L3の傾きCは、コマ収差量にほぼ比例する。また、被検光学

が、このウエハマークWMはたとえばCCD116の計測方向またはCCD117の計測方向に沿って周期的な位相変化を繰り返すデューティ比が1対1の位相パターンである。こうした位相パターンは、たとえば投影露光装置で露光処理したシリコンウエハをエッチング処理することにより、所望の精度で正確な形状に形成することができる。なお、後述する光学系の収差測定などにおいて鋭敏な検出感度を得るためには、位相パターンの反射振幅位相分布の位相変化量 Φ が、CCD116および117で検出する光束の中心波長に対して以下の式(a)を満足することが望ましい。

ウエハ上における位相パターンWMのピッチ)毎に変化する。第1実施例では、位相パターン像の非対称性を定量化するために、積分信号 ΣV の分布においてi番目(図2では2番目)の周期における図中左右の信号極小値(落ち込みエッジ部の信号値)をそれぞれ V_{iL} および V_{iR} ($i = 1, 2, 3 \dots$)とする。また、積分信号 ΣV の両端部分を除き各周期に亘る全体領域において、信号の最大値および最小値をそれぞれ V_{\max} および V_{\min} とする。

【0045】そして、位相パターン像の非対称性の指標 β を、次の式(1)に基づいて求める。

系(この場合も結像光学系)において結像光束のケラレが存在する場合、図4(b)において示すように、指標 β はデフォーカス量Zの変化に応じて折れ線(あるいは破線で示すような湾曲した曲線)L4で示すような変動を示す。そして、この折れ線または湾曲線L4の折れ曲がり量Dは、結像光束のケラレ量にほぼ比例する。

【0049】こうして、位相パターン像をデフォーカスさせて得られる指標 β とデフォーカス量Zとの関係から、オフセット値Bにより照明テレセンを、傾きの値Cによりコマ収差を、折れ曲がり量Dから光束ケラレをそれぞれ求めることができる。また、上述の説明において、位相パターン像を検出する領域を所望の範囲に限定してもよい。すなわち、式(1)において、 $i = 1 \sim n$ の範囲を限定してもよい。このように限定することにより、物体面上の任意の位置における被検光学系の照明テレセン、光束ケラレ、コマ収差を検査することができる。更に、視野の各点に対して上述の検査を行うことにより、例えば検出視野内の偏心コマ収差と像高コマ収差とを判別したりすることが可能になる。また、照明テレセンや光束ケラレに関しても同様である。

【0050】図5は、位相パターン像の光強度に応じた信号Vを非計測方向に積分した積分信号 ΣV を、計測方向Sに対してプロットした図であって、位相パターンの凹部に対応する位相パターン像の像強度と凸部に対応する位相パターン像の像強度との差異を定量化した指標 α

を説明するための図である。このように、図5は図2に対応する図であるが、簡略化のためにコマ収差や光束ケラレが存在しない被検光学系を例示的に想定している。

【0051】上述したように、第1実施例では、位相パターンからなるウェハマークWMの像が撮像素子であるCCD(116, 117)の撮像面に形成される。したがって、図5では、図2と同様に、撮像素子(116, 117)からの撮像信号Vを非計測方向に積分した積分信号 ΣV を計測方向Sに対してプロットしている。図5に示すように、積分信号 ΣV は、計測方向Sに沿って周期BP(B:結像光学系の倍率; P:ウェハ上における

$$\alpha = \Sigma \{V_{it} - V_{io} / (V_{it} + V_{io})\} / (2n) \quad (2)$$

ここで、nは周期数であり、 Σ は $i=1 \sim n$ までの総和記号である。

【0053】図6は、主制御系125の指令に基づきステージ制御系124がZステージ122を適宜駆動して得られる各デフォーカス状態で、位相パターンの凹部および凸部にそれぞれ対応する位相パターン像の像強度の間の差異の指標 α の変化と球面収差との関係を示す図である。なお、図6および関連する他の図(図7および図8)において、 $Z=0$ は被検光学系の近軸像面位置に対応している。また、 $\alpha=0$ は、位相パターンの凹部に対応する位相パターン像の像強度と凸部に対応する位相パターン像の像強度とが等しくなる状態に対応している。被検光学系(この場合は結像光学系)において球面収差が存在しない場合、指標 α はデフォーカス量Zの値に応じてほぼ正比例した変化を示す。すなわち、指標 α の変化を示す直線L1において、 $\alpha=0$ のとき $Z=0$ となる。

【0054】一方、被検光学系において補正オーバーの球面収差が存在する場合は、指標 α の変化を示す直線L2およびL3において、 $\alpha=0$ のときのZの値は負となる。また、 $\alpha=0$ のときのZの絶対値は、その球面収差量の大きさに応じて大きくなる。すなわち、補正オーバーの球面収差が比較的大きく存在する場合の指標 α の変化を示す直線L2がZ軸($\alpha=0$ の軸線)と交わるときのZの絶対値の方が、補正オーバーの球面収差が比較的小さく存在する場合の指標 α の変化を示す直線L3がZ軸と交わるときのZの絶対値よりも大きくなる。このように、補正オーバーの球面収差が存在する場合、位相パターンの凹部に対応する位相パターン像の像強度と凸部に対応する位相パターン像の像強度とが等しくなるデフォーカス位置が、その球面収差量の大きさに応じて $Z=0$ の近軸像面位置から負の方向へ離れる傾向となる。

【0055】また、被検光学系において補正アンダーの球面収差が存在する場合は、指標 α の変化を示す直線L4およびL5において、 $\alpha=0$ のときのZの値は正となる。また、 $\alpha=0$ のときのZの値は、その球面収差量の大きさに応じて大きくなる。すなわち、補正アンダーの球面収差が比較的大きく存在する場合の指標 α の変化を

位相パターンWMのピッチ)毎に変化する。第1実施例では、位相パターンの凹部に対応する位相パターン像の像強度と凸部に対応する位相パターン像の像強度との差異を定量化するために、積分信号 ΣV の分布においてi番目の位相パターンの凹部に対応する積分信号 ΣV を V_{io} ($i=1, 2, 3 \dots$)とし、i番目の位相パターンの凸部に対応する積分信号 ΣV を V_{it} ($i=1, 2, 3 \dots$)とする。

【0052】そして、位相パターンの凹部および凸部にそれぞれ対応する位相パターン像の像強度の間の差異の指標 α を、次の式(2)により求める。

示す直線L4がZ軸($\alpha=0$ の軸線)と交わるときのZの値の方が、補正アンダーの球面収差が比較的小さく存在する場合の指標 α の変化を示す直線L5がZ軸と交わるときのZの値よりも大きくなる。このように、補正アンダーの球面収差が存在する場合、位相パターンの凹部に対応する位相パターン像の像強度と凸部に対応する位相パターン像の像強度とが等しくなるデフォーカス位置が、その球面収差量の大きさに応じて $Z=0$ の近軸像面位置から正の方向へ離れる傾向となる。

【0056】図7は、周期の異なる2種類の位相パターンに関するデフォーカス量Zと指標 α との関係を示す図であって、(a)は被検光学系において球面収差が存在する場合を、(b)は球面収差が存在しない場合をそれぞれ示している。周期の小さい位相パターンの方が周期の大きい位相パターンの場合よりもパターンから生じる回折光の回折角度が大きく、球面収差の影響をより受け易い。したがって、被検光学系において球面収差が存在する場合、周期の小さい位相パターンに対して得られる直線L2がZ軸と交差する位置Z2の方が、周期の大きい位相パターンに対して得られる直線L1がZ軸と交差する位置Z1よりも $Z=0$ の近軸像面位置から離れる。

【0057】一方、被検光学系において球面収差が存在しない場合は、周期の小さい位相パターンに対して得られる直線L2がZ軸と交差する位置Z2も、周期の大きい位相パターンに対して得られる直線L1がZ軸と交差する位置Z1も、 $Z=0$ の近軸像面位置と一致する。以上より、Z2とZ1との差分($Z2-Z1$)は被検光学系に残存する球面収差の大きさに比例し、且つ差分($Z2-Z1$)の正負の符号は球面収差の補正オーバーおよび補正アンダーに対応していることが分かる。換言すると、周期の異なる2種類の位相パターンを用いて位相パターン像をデフォーカスさせた場合に得られる指標 α とデフォーカス量Zとの関係から、上述の差分($Z2-Z1$)に基づいて被検光学系の球面収差の大きさおよびその補正状態を求めることができる。

【0058】図8は、2種類の照明 σ 値で照明したときの同一位相パターンに関するデフォーカス量Zと指標 α との関係を示す図であって、(a)は被検光学系におい

て球面収差が存在する場合を、(b)は球面収差が存在しない場合をそれぞれ示している。ここで、照明 σ とは、結像開口数に対する照明開口数の比をいう。照明 σ 値が比較的大きい照明の方が照明 σ 値が比較的小さい照明の場合よりも、位相パターンからの結像光束は球面収差の影響をより受け易い。したがって、被検光学系において球面収差が存在する場合は、照明 σ 値が大きい場合に得られる直線 $L2'$ が Z 軸と交差する位置 $Z2$ の方が、照明 σ 値が小さい場合に得られる直線 $L1'$ が Z 軸と交差する位置 $Z1$ よりも $Z=0$ の近軸像面位置から離れる。

【0059】一方、被検光学系において球面収差が存在しない場合は、照明 σ 値が大きい場合に得られる直線 $L2'$ が Z 軸と交差する位置 $Z2$ も、照明 σ 値が小さい場合に得られる直線 $L1'$ が Z 軸と交差する位置 $Z1$ も、 $Z=0$ の近軸像面位置と一致する。以上より、同一位相パターンを2種類の照明 σ 値で照明する場合においても、周期の異なる2種類の位相パターンを用いる場合と同様に、 $Z2$ と $Z1$ との差分($Z2-Z1$)は被検光学系に残存する球面収差の大きさに比例し、且つ差分($Z2-Z1$)の正負の符号は球面収差の補正オーバーおよび補正アンダーに対応していることが分かる。換言すると、同一位相パターンを2種類の照明 σ 値で照明して位相パターン像をデフォーカスさせた場合に得られる指標 α とデフォーカス量 Z との関係から、上述の差分($Z2-Z1$)に基づいて被検光学系の球面収差の大きさおよびその補正状態を求めることができる。

【0060】また、図7および図8の説明で容易に分かるように、いずれの場合においても被検光学系に球面収差がない場合、指標 $\alpha=0$ となるデフォーカス位置が近軸像面の Z 位置である。また、被検光学系に球面収差がある場合、第1の周期の位相パターン(第1の照明 σ)に対して指標 $\alpha=0$ となる第1のデフォーカス位置 $Z1$ と第2の周期の位相パターン(第2の照明 σ)に対して指標 $\alpha=0$ となる第2のデフォーカス位置 $Z2$ とに基づいて、近軸像面位置や光軸上非点隔差を求めることができる。

【0061】また、上述の説明において、位相パターン像を検出する領域を所望の範囲に限定してもよい。すなわち、式(2)において、 $i=1\sim n$ の範囲を限定してもよい。このように限定することにより(視野の各点に対して上述の検査を行うことにより)、被検光学系の近軸像面位置や光軸上非点隔差の他に、非点収差、像面湾曲や像面傾斜を検査することが可能になる。

【0062】また、照明光学系の光路中に光学フィルタなどを挿入して位相パターンを照射する照明光の波長を選択したり、分光反射率(透過型の場合には分光透過率)の異なる2つ以上の位相パターンを用意して位相パターンからの反射光(透過型の場合には透過光)の波長を選択したり、結像光学系の光路中に光学フィルタを挿

入して位相パターンからの結像光束の波長を選択したりすることによって、所望の波長に関して被検光学系の検査を行うことが可能になる。その結果、すでに説明した各種の単色収差等を波長毎に検査する他に、軸上色収差や軸外色収差を検査することもできる。

【0063】以上の説明において、位相パターン像の非対称性の指標 β を定量化する際に、一周期分の信号の左右極小値 Vil および Vir を用いている。しかしながら、本出願人の出願による特願平7-20325号明細書(特開平8-213306号公報)に開示しているように、一周期分の信号における左右の落ち込みエッジ部の幅を用いて位相パターン像の非対称性の指標 β を定量化することもできる。

【0064】さらにまた、位相パターンの凸部および凹部にそれぞれ対応した位相パターン像の像強度の間の差異の指標 α に関しても、本実施例と異なる処理が可能である。図9は、位相パターンの凸部に対応した位相パターン像の像強度と凹部に対応した位相パターン像の像強度とが一致する場合に、位相パターン像の像強度分布において凸部および凹部に対応する像強度波形に角が生じる様子を示す図である。この場合、指標 α を直接的に求めることなく、位相パターン像の像強度分布において凸部および凹部に対応する像強度波形に角が生じたデフォーカス位置を位置 $Z1$ または位置 $Z2$ として採用することもできる。

【0065】また、指標 β を求める際にその正確さを確保するために、1つまたは複数のデフォーカス状態で検出した位相パターンのエッジに対応した像の非対称性の指標 $\beta1$ と、位相パターンをその検出中心の周りに180度回転させた状態で(すなわち本実施例では位相パターンを Z 軸周りに180度回転させた状態で)1つまたは複数のデフォーカス状態で検出した前記位相パターンのエッジに対応した像の非対称性の指標 $\beta2$ とをそれぞれ検出し、その平均値 β_{ave1} を次の式(3)で求めることが望ましい。

$$\beta_{ave1} = (\beta1 + \beta2) / 2 \quad (3)$$

被検光学系の検査を行う際の位相パターン像の非対称性の指標 β としてこの平均値 β_{ave1} を用いることにより、位相パターン自体の非対称性による検出誤差を補正することができる。

【0066】更に、1つまたは複数のデフォーカス状態で検出した位相パターンのエッジに対応した像の非対称性の指標 $\beta1$ と、撮像素子(本実施例ではCCD116および117)をその検出中心の周りに180度回転させた状態で、1つまたは複数のデフォーカス状態で検出した位相パターンのエッジに対応した像の非対称性の指標 $\beta2$ とをそれぞれ検出し、その平均値 β_{ave2} を次の式(4)で求めることが望ましい。

$$\beta_{ave2} = (\beta1 + \beta2) / 2 \quad (4)$$

被検光学系の検査を行う際の位相パターン像の非対称性

の指標 β としてこの平均値 β_{ave2} を用いることにより、撮像素子自体の非対称性による検出誤差を補正することができる。

【0067】なお、位相パターン像をデフォーカスして得られる指標 β や指標 α のデフォーカス量 Z に対する感度は、照明 σ 値、パターンのピッチ、デューティ比、テーパー、段差などに依存する。したがって、これらのパラメーターを適宜選択することにより、実使用状態において最適な検査を行うことができるように検査感度を制御することが望ましい。

【0068】また、位相パターン像をデフォーカスする際のデフォーカス範囲として、指標 α が0になる Z 位置を中心にした適当な範囲を選ぶことが望ましい。このようにデフォーカス範囲を選定することにより、指標 β の変化の様態を正確に把握することができる。また、デフォーカス手段としては、位相パターンの形成されたウエハを搭載した Z ステージを上下に駆動させる手段の他、被検光学系の全体または一部光軸に沿って移動させる手段や、撮像手段のうちの少なくとも一方を被検光学系の光軸に沿って移動させる手段を用いることができる。

【0069】以上、位相パターン像をデフォーカスしながら位相パターン像のエッジの非対称性の指標 β や位相パターンの凹凸部の像強度の差異の指標 α を計測することにより、被検光学系のコマ収差、偏心コマ収差、光束ケラレ、照明光の傾斜に加え、球面収差や焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、像面傾斜の任意の波長の光に関する検査を行うことができることを説明した。次に、これらの検査情報（検出結果）に基づいて行われる補正や調整、すなわち被検光学系の収差や合焦位置に関する補正や調整の方法や、照明開口絞りや結像開口絞りに関する位置調整の方法について説明する。

【0070】まず、照明テレセン（照明光の傾斜）の調整を行うには、照明開口絞り127の位置調整を行う。具体的には、駆動系128を介して照明開口絞り127を光軸に対して垂直方向または並進方向に適宜駆動する。また、ライトガイド104の射出端が照明開口絞りを兼ねているような場合には、ライトガイド104を光軸に対して垂直方向または並進方向に適宜駆動する。さらに、ライトガイド104とコンデンサーレンズ129との間の光路中に、または照明リレーレンズ105とハーフプリズム106との間の光路中に、平行平板のような光束平行移動手段を設けてもよい。光束平行移動手段として平行平板を用いる場合、この平行平板を傾斜させることによって、照明テレセンの調整を行うことができる。

【0071】一方、結像光束のケラレの調整を行うには、結像開口絞り130の位置調整を行う。具体的には、駆動系131を介して結像開口絞り130を光軸に対して垂直方向または並進方向に適宜駆動する。また、ハーフプリズム106と第2対物レンズ111との間の

光路中に、またはリレーレンズ113とリレーレンズ114との間で結像開口絞り130よりもウエハ側の光路中に、平行平板のような光束平行移動手段を設けてもよい。光束平行移動手段として平行平板を用いる場合、この平行平板を傾斜させることによって、結像光束のケラレの調整を行うこともできる。

【0072】さらに、結像光学系の球面収差の補正を行うには、例えば第2対物レンズ111やリレーレンズ113を光軸に沿って適宜駆動する。あるいは、第2対物レンズ111とリレーレンズ113との間隔を変化させることにより、結像光学系の球面収差を補正することができる。また、 Z ステージを駆動してウエハ W 面と第1対物レンズ107との間隔を変化させることによって、球面収差を制御することができる。ただしこの場合には、CCDを光軸方向に適当に並進させることにより、CCDの撮像面上での像のデフォーカス分を吸収しなければならない。

【0073】また、結像光学系の偏心コマ収差は、第2対物レンズ111やリレーレンズ113のレンズ系全体または一部のレンズを光軸に対して垂直に偏心駆動することにより補正が可能である。なお、合焦位置（焦点位置）に関する調整を行うには、 Z ステージを光軸方向に適宜駆動すればよい。また、光軸上非点隔差の補正を行うには、 X 方向のCCDおよび Y 方向のCCDのうちの少なくとも一方を光軸方向に沿って適宜移動させればよい。

【0074】さらに、像高コマ収差、像面湾曲、像面傾斜などの収差は、光学設計上の考慮や製造上の管理で通常問題になることは少ない。しかしながら、結像光学系の一部のレンズ系のレンズタイプを変更して入れ替えたり、一部のレンズ系を偏心させたりすることにより、これらの収差も必要に応じて補正することができる。色収差の補正に関しても、これらの収差と同様である。

【0075】図10は、本発明の第2実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す斜視図である。なお、第1実施例では投影露光装置に付設されたオフアクシス方式の位置合わせ装置の結像光学系および照明光学系を検査しているが、第2実施例では投影露光装置の投影光学系および照明光学系を検査している。また、第1実施例では像検出手段としてCCDを用いているが、第2実施例では像検出手段としてスリットの形成された基準部材と光電検出器とを用いている。図10では、投影露光装置の投影光学系PLの光軸AXに対して平行にZ軸が、光軸AXに垂直な平面内においてX軸およびY軸が互いに直交するようにそれぞれ設定されている。

【0076】図10の投影露光装置は、たとえば超高圧水銀ランプからなる光源LPを備えている。光源LPは、回転楕円面からなる反射面を有する集光鏡（楕円鏡）EMの第1焦点位置に位置決めされている。したが

って、光源LPから射出された照明光束は、楕円鏡EMの第2焦点位置に光源像（二次光源）を形成する。

【0077】二次光源からの光は、コリメートレンズGLおよびミラーM1を介した後、平行光束となってフライアイレンズFLに入射する。フライアイレンズFLに入射した光束は、フライアイレンズFLを構成する複数のレンズエレメントにより二次元的に分割され、フライアイレンズFLの後側焦点位置（すなわち射出面近傍）に複数の光源像（三次光源）を形成する。

【0078】複数の光源像からの光束は、フライアイレンズFLの射出面に配置された可変開口絞り12により制限された後、ミラーM2を介してコンデンサーレンズCLに入射する。コンデンサーレンズCLを介して集光された光は、転写用のパターンが形成されたマスク14を重畳的に均一に照明する。このように、光源PL、楕円鏡EM、コリメートレンズGL、ミラーM1、フライアイレンズFL、可変開口絞り12、ミラーM2、およびコンデンサーレンズCLは、照明光学系11を構成している。

【0079】露光に際して、マスク14を透過した光束は、投影光学系17を介して感光基板であるウエハ（不図示）に達する。こうして、ウエハ上には、マスク14のパターン像が形成される。ウエハは、投影光学系17の光軸AX（Z方向に平行）に対して垂直なXY平面内において二次元的に移動可能なXYステージ18および投影光学系17の光軸AX方向に沿って移動可能なZステージ13上に支持されている。したがって、ウエハを二次元的に移動させながら露光を行うことにより、ウエハの各露光領域にマスク14のパターンを逐次転写することができる。

【0080】図10の投影露光装置には、斜入射光方式のオートフォーカス系（22A、22B）が設けられている。斜入射光方式のオートフォーカス系では、送光系22Aがウエハの表面に向かって斜めから光を照射する。ウエハ表面上で正反射された光は受光系22Bで受光され、反射光の位置変化に基づいてウエハのZ方向位置が検出される。こうして、オートフォーカス系（22A、22B）の作用により、露光に際してウエハ表面を投影光学系17の結像面（マスク14と共役な面）にほぼ一致させることができる。

【0081】一方、検査に際して、XYステージ18上には、ウエハに代えて基準部材PTおよび受光器23が設置される。そして、オートフォーカス系（22A、22B）およびZステージ13の作用により、基準部材PTの表面を投影光学系17に対して所定のデフォーカス位置に位置決めする。この場合、まず、オートフォーカス系（22A、22B）を用いて、基準部材PTの表面を投影光学系17の結像面に対してほぼ一致させ、この位置を近軸像面位置（ $Z=0$ ）とする。次いで、近軸像面位置（ $Z=0$ ）を基準としてZステージ13を所定量

Z（デフォーカス量）だけ駆動することにより、所定のデフォーカス位置に基準部材PTの表面を位置決めすることができる。なお、パターン16や投影光学系17をZ方向に移動させて、デフォーカス状態を形成することもできる。

【0082】各デフォーカス状態において、マスク14に形成された検査用位相パターン16を透過した光束は、投影光学系17を介して基準部材PTの表面に達する。こうして、基準部材PTの表面には、マスク14の検査用位相パターン像16Aが各デフォーカス状態で形成される。位相パターン像16Aからの光は、基準部材PTの表面に形成されたスリット19を介して受光器23に入射する。スリット19は、たとえば1本のスリットパターンで形成されている。したがって、位相パターン像16Aとスリット19とを所定方向に相対移動させるスリットスキャン方式により、受光器23において位相パターン像16Aの光強度分布に応じた電気信号を得ることができる。

【0083】前述したように、第1実施例では像検出手段としてCCDを用いているのに対し、第2実施例では像検出手段としてスリット19の形成された基準部材PTと受光器23とを用いているが、得られた位相パターン像の光強度分布に基づく収差などの検出および検出情報に基づく収差などの補正および調整は第1実施例と同様である。すなわち、第2実施例においても第1実施例と同様に、位相パターン像をデフォーカスしながら位相パターン像のエッジの非対称性の指標 β や位相パターン像の凹凸部の像強度の差異の指標 α を計測することにより、被検光学系（投影光学系17および照明光学系11）のコマ収差、偏心コマ収差、光束ケラレ、照明光の傾斜に加え、球面収差や焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、像面傾斜の任意の波長の光に関する検査を行うことができる。また、これらの検査情報（検出結果）に基づいて、被検光学系の収差や合焦位置や光軸ズレを補正または調整することができる。

【0084】たとえば、図10の投影露光装置において、投影光学系17の球面収差およびコマ収差を補正するには、投影光学系17を構成する各レンズ成分のうち球面収差やコマ収差に対して敏感なレンズを、光軸AXに対してシフト（移動）させたりチルト（傾斜）させたりする。また、投影光学系17のその他の収差についても、第1実施例と同様の考え方で処理することができる。一方、図10の投影露光装置において、照明テレセンや光束ケラレなどを適正に調整するには、可変開口絞り12や投影光学系17中の開口絞りを光軸AXに対して適宜駆動する。

【0085】また、本発明の第3実施例として、重ね合わせ測定装置に対して本発明の検査装置を適用することができる。重ね合わせ測定装置は、たとえば投影露光装置に内設または外設され、感光性基板上に形成された第

1 パターンと第2パターンとの相対位置ずれの測定を行う装置である。そして、前述した位置合わせ装置のアライメント光学系と重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系とは、光学的に類似な構成を有する。したがって、位置合わせ装置の場合と同様に、重ね合わせ測定光学系の収差などを正確且つ簡易に検査するとともに、その検査情報に基づいて重ね合わせ測定光学系の収差などを良好に補正することができる。

【0086】なお、本発明の検査装置および検査方法において、位相パターン像の非対称性の検出を、第1実施例のように撮像方式で行ってもよいし、第2実施例のようにスリットによるスキャン方式で行ってもよい。また、本発明は、透過照明や落射照明（反射照明）のような照明方法の違いには依存しない。また、本発明の検査装置を、投影露光装置や重ね合わせ測定装置や位置合わせ装置だけでなく、検査すべき光学系を有する他の一般的な装置に適用することができる。

【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の検査装置および検査方法によれば、各デフォーカス状態において位相パターンのエッジに対応する像の非対称性（指標 β ）や位相パターンの凹凸部の像強度の差異（指標 α ）を計測することにより、光学系のコマ収差、偏心コマ収差、光束ケラレ、照明光の傾斜（照明テレセン）に加え、球面収差、焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、像面傾斜を、任意の波長の光に関し再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。そして、検出した光学系の検査情報に基づいて、光学系の収差や合焦位置に関する補正および調整、照明開口絞りや結像開口絞りに関する位置調整などを効率的且つ適正に行うことにより、当該光学系を理想光学系に限りなく近づけることができる。

【0088】したがって、本発明の検査装置を投影露光装置や位置合わせ装置や重ね合わせ測定装置などに組み込むことにより、投影露光装置の照明光学系および投影光学系や位置合わせ装置のアライメント光学系や重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系を再現性良く容易且つ迅速に検査するとともに、検査装置による検出結果に基づいて光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどを補正または調整することによって十分な装置性能を発揮させることができる。具体的には、位置合わせ装置ではアライメント光学系に起因する位置検出誤差が低減し、重ね合わせ測定装置では重ね合わせ測定光学系に起因する測定誤差が低減する。また、投影露光装置では、投影光学系の収差が良好に補正され且つその焦点位置や光軸ズレなどが良好に調整されるので、パターン転写性能が向上し、精度の高い重ね合わせ投影露光を行うことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例にかかる検査装置を備えた

投影露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】位相パターン像の光強度に応じた信号 V を非計測方向に積分した積分信号 ΣV を、計測方向 S に対してプロットした図であって、位相パターン像の非対称性の指標 β を説明するための図である。

【図3】各デフォーカス状態での位相パターン像の非対称性の指標 β の変化とコマ収差や光軸ずれ等との関係を示す図である。

【図4】各デフォーカス状態での位相パターン像の非対称性の指標 β の変化とコマ収差や光軸ずれ等との関係を示す図である。

【図5】位相パターン像の光強度に応じた信号 V を非計測方向に積分した積分信号 ΣV を、計測方向 S に対してプロットした図であって、位相パターンの凹部に対応する位相パターン像の像強度と凸部に対応する位相パターン像の像強度との差異を定量化した指標 α を説明するための図である。

【図6】各デフォーカス状態での、位相パターンの凹部および凸部にそれぞれ対応する位相パターン像の像強度の間の差異の指標 α の変化と球面収差との関係を示す図である。

【図7】周期の異なる2種類の位相パターンに関するデフォーカス量 Z と指標 α との関係を示す図であって、

(a)は被検光学系において球面収差が存在する場合を、(b)は球面収差が存在しない場合をそれぞれ示している。

【図8】2種類の照明 σ 値で照明したときの同一位相パターンに関するデフォーカス量 Z と指標 α との関係を示す図であって、(a)は被検光学系において球面収差が存在する場合を、(b)は球面収差が存在しない場合をそれぞれ示している。

【図9】位相パターンの凸部に対応した位相パターン像の像強度と凹部に対応した位相パターン像の像強度とが一致する場合に、位相パターン像の像強度分布において凸部および凹部に対応する像強度波形に角が生じる様子を示す図である。

【図10】本発明の第2実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す斜視図である。

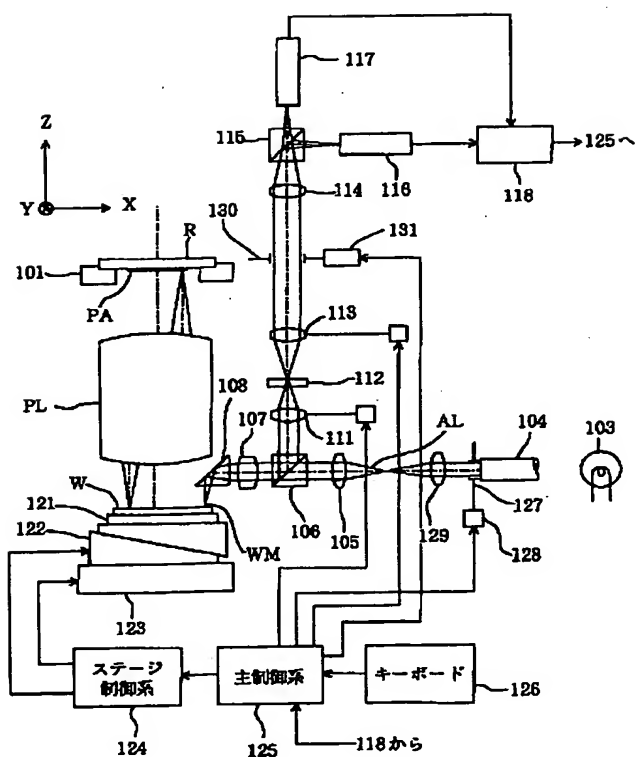
【符号の説明】

LP	光源
EM	楕円鏡
GL	コリメートレンズ
FL	フライアイレンズ
I1	照明光学系
I2	可変開口絞り
CL	コデンサーレンズ
I3	Zステージ
I4	マスク
I6	検査用パターン
I7	投影光学系

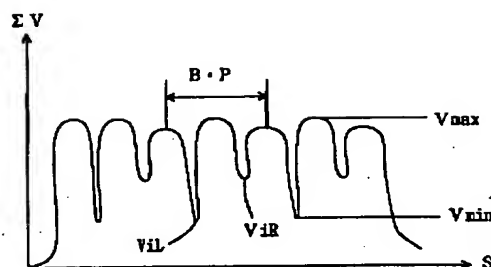
- 18 XYステージ
19 スリット
22 斜入射光方式のオートフォーカス系
23 受光器
104 ライトガイド
106 ハーフプリズム
107 対物レンズ
111 第2対物レンズ

- 115 分岐プリズム
116、117 CCD
118 信号処理系
121 XYステージ
122 Zステージ
127 照明開口絞り
130 結像開口絞り

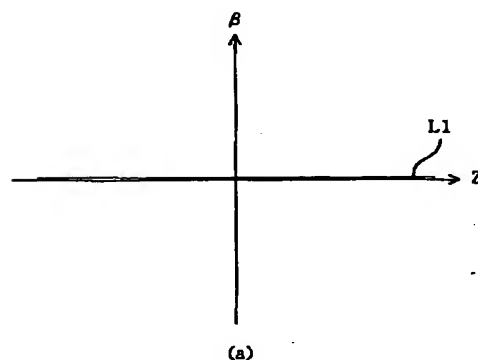
【図1】



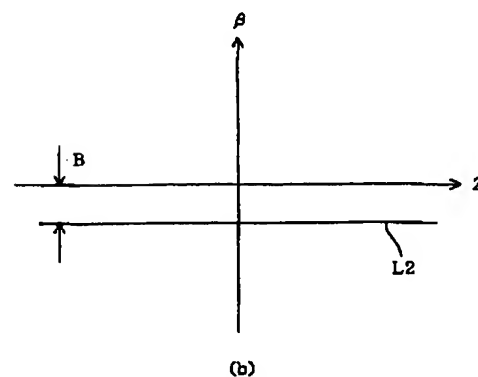
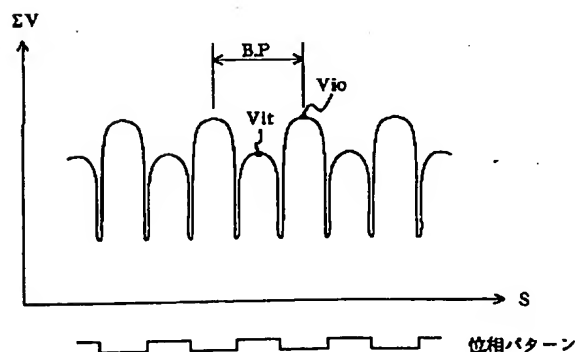
【図2】



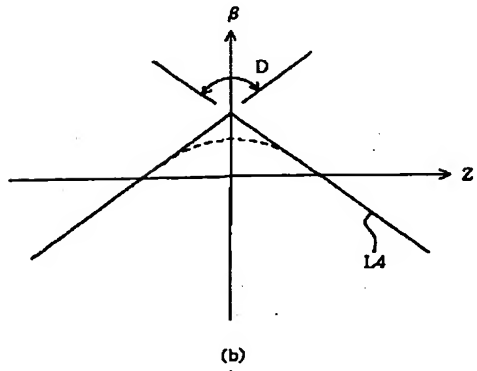
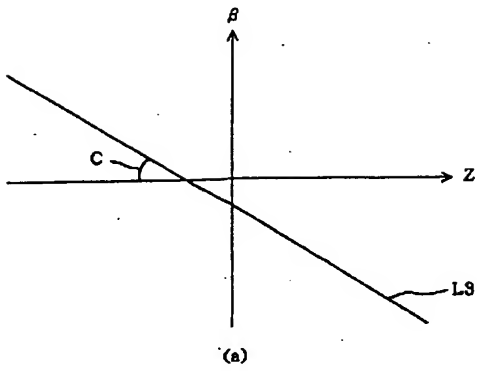
【図3】



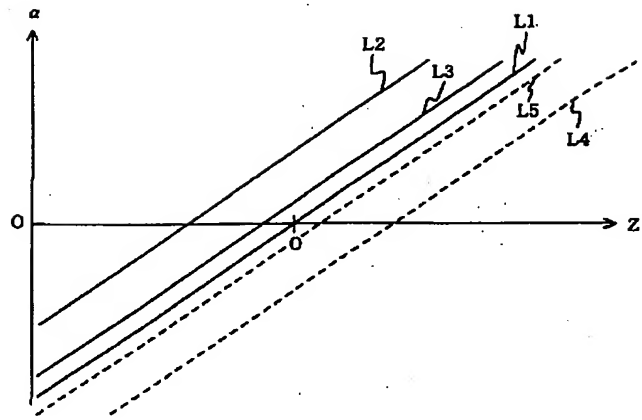
【図5】



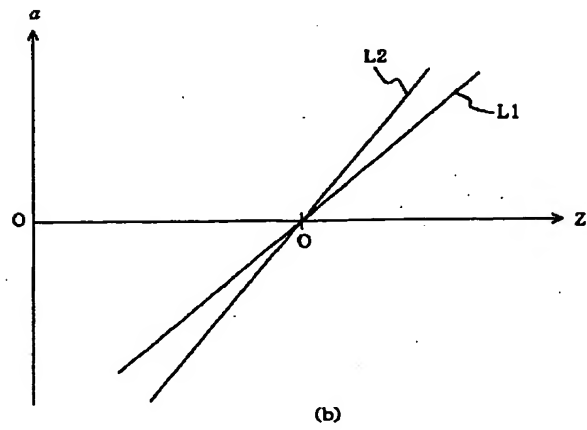
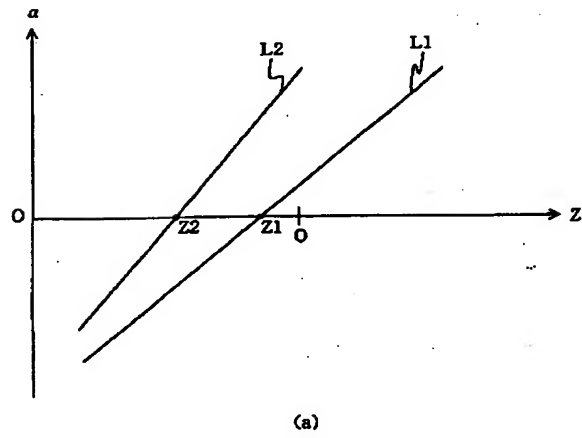
【図 4】



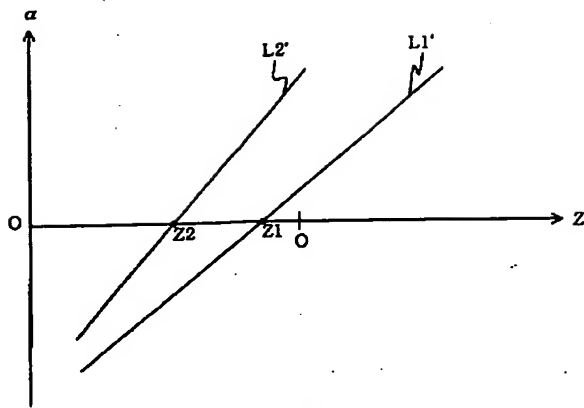
【図 6】



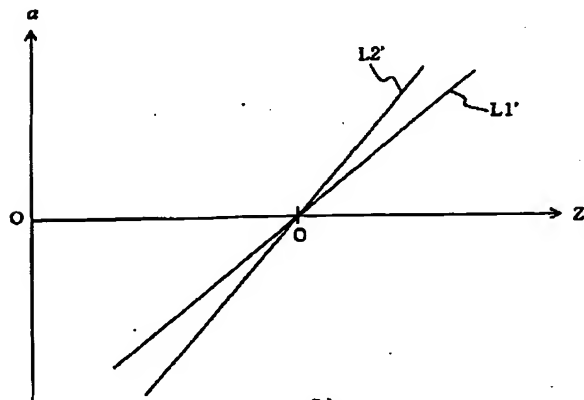
【図 7】



【図 8】

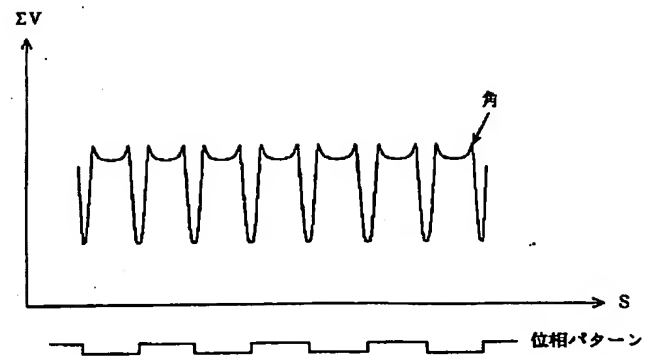


(a)

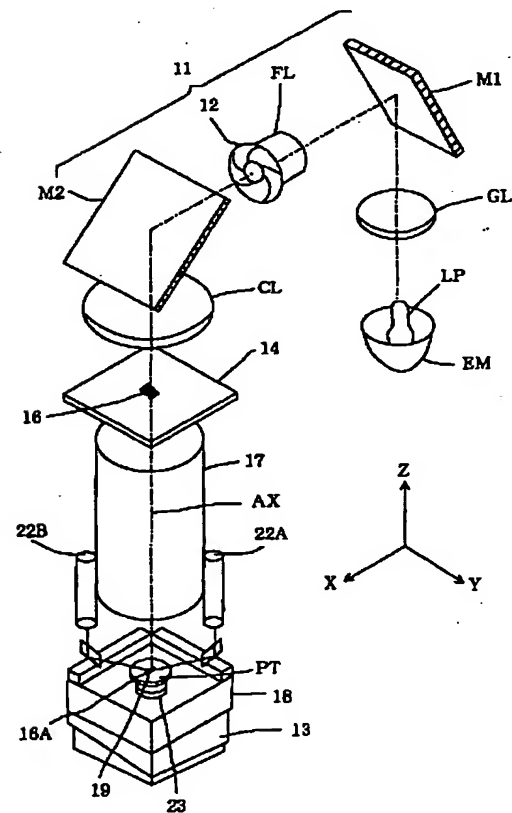


(b)

【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

G 0 3 F 7/20
9/00

識別記号

5 2 1

F I

G 0 3 F 7/20
9/00

H 0 1 L 21/30

テーマコード (参考)

5 2 1

H

5 0 2 V

5 1 6 A

(72)発明者 中川 正弘
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

Fターム(参考) 2G086 EE12 HH01 HH06
2H052 AA03 AB14 AB17 AC02 AC07
AC31 AF06 BA02 BA09 BA12
2H087 KA09 KA21 QA02 QA06
5F046 BA04 BA05 CC05 DA13 DA14
DB08 DC10 DC12 EA07 EB01
EB02 EC03 FA03 FA07 FA10
FB06 FB09 FB13 FC04 FC05